

Article, Published Version

Wendt, Dietrich

Bauweise Bewehrte Erde

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106240>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Wendt, Dietrich (1987): Bauweise Bewehrte Erde. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau 52. Berlin: Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 11-19.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



1. Bauweise "Bewehrte Erde"

1.1. Grundlagen

Der Grundgedanke der Bauweise "Bewehrte Erde" ist die Verbundwirkung von Erdstoff und eingelegten Bewehrungselementen durch Reibungskräfte, die an der Oberfläche der Bewehrung wirken. Die Nutzung dieses Wirkungsprinzips erfolgte bereits in früheren Jahrhunderten sowohl bei Stützbauwerken (Bild 1) als auch bei schwimmenden Gründungen z. B. im Moor, wobei Faschinenbündel untergelegt wurden. Von Henri VIDAL wurde die Bauweise in den Jahren 1963 und 1964 in Frankreich und in anderen Ländern zum Patent angemeldet. Sie erfuhr danach eine stürmische Entwicklung /10, 11/. Bild 2 zeigt die Veränderungen im Verhalten des Erdstoffes bei ein- und mehrachsiger Beanspruchung, die durch die Einlage von Bewehrungen entstehen. Während im Fall a der Körper aus Erdstoff, der nur durch eine vertikale Spannung σ_v belastet wird, sofort zu Bruch geht, weil der zugehörige MOHR'sche Spannungskreis a die COULOMB'schen Geraden schneidet, kann bei zusätzlich vorhandener horizontaler Spannung σ_h (Fall b) der Körper mit dem Spannungskreis b im ungefährdeten Bereich verbleiben. Experimente zeigen, daß auch mit σ_v belastete, aber innerlich mit Bewehrungsbändern versehene Körper (Fall c) stabil bleiben. Der zugehörige Spannungskreis entspricht dem von Fall a, weil $\sigma_h = 0$ ist. Eine Erklärung für den nicht erfolgten Bruch kann nur darin gesehen werden, daß die COULOMB'schen Geraden im Fall c nach links verschoben sind und sich somit im Erdstoff eine scheinbare Kohäsion c ausgebildet hat. Diese Kohäsion läßt sich auch mit Triaxial-Schergeräten nachweisen, wenn nichtbindiger Erdstoff lagenweise mit Papier, Aluminiumfolie o. a. eingebaut wird. Die Bewehrung verhindert durch die von ihr aufgenommenen Zugkräfte eine seitliche Deformation des Erdstoffkörpers. Die Zugkräfte werden durch Reibung zwischen dem Erdstoff und der Bewehrung erzeugt bzw. wieder abgebaut (Bild 3). Die Reibungskräfte sind proportional den Normalkräften; der Proportionalitätsfaktor ist der Reibungskoeffizient. Diese Reibungskräfte wirken auf beiden Seiten der Bewehrung und sind deshalb zweifach im Zugspannungsunterschied enthalten.

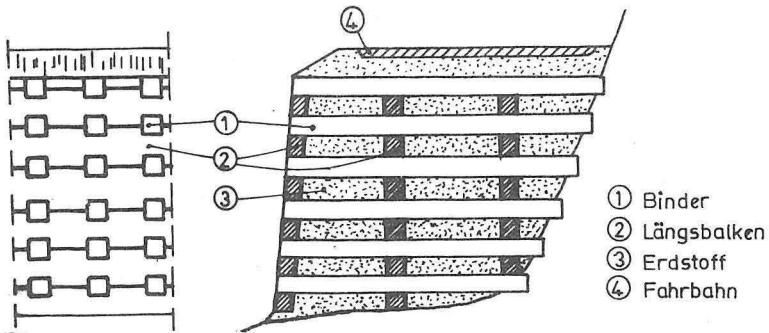


Bild 1 Stützbauwerk aus Holzbalken und grobkörnigem Erdstoff,
19. Jahrhundert

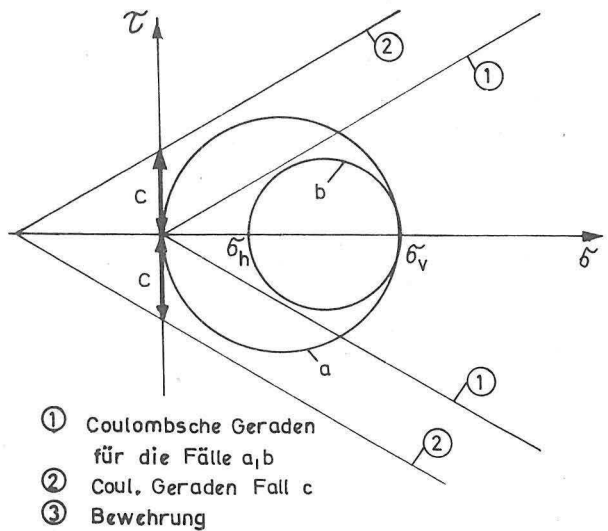
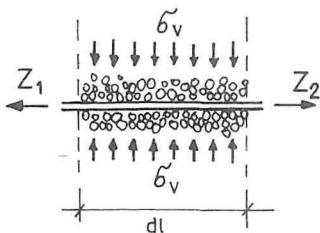


Bild 2 Zusammenhänge zwischen Belastung und Bruch:
a) unbewehrter Erdkörper, nur vertikal belastet:
Bruch;
b) unbewehrter Erdkörper, vertikal und horizontal
belastet: kein Bruch;
c) bewehrter Erdkörper, nur vertikal belastet:
kein Bruch



$$dZ = Z_1 - Z_2$$

$$= 2 \cdot \sigma_v \cdot b \cdot dl \cdot \mu$$

b Breite des Bandes
 μ Reibungskoeffizient zwischen
 Erdstoff und Bewehrung

Bild 3 Wirkung der Bewehrung durch Reibung

1.2. Baustoffe

Nach der Idee von VIDAL eignet sich das Verfahren besonders bei Verwendung nichtbindiger Erdstoffe und bandförmiger Bewehrungen, die in mehreren, meist horizontalen Ebenen parallel oder kreuzweise ausgelegt werden. VIDAL erweiterte diesen Grundgedanken auch auf andere Verfüll- und Bewehrungsmaterialien. So sind in /3/, im erweiterten Sinne, auch bindige Erdstoffe und industrielle Korngemische eingeschlossen. Als Bewehrung sind nach /3/ alle Elemente geeignet, die eine erhebliche Zugbelastung aufnehmen können, wie Bänder, Platten, Stangen, Fäden, Fasern, Seile, Gitter, Roste, Vliese aus Metall, Textilien, Holz, Kunststoffen, Glas u. a. Als günstig wird angesehen, wenn die Bewehrung eine starke Reibung mit dem Verfüllmaterial und eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit besitzt. Selbstverständlich sind auch zusammengesetzte Werkstoffe (ummantelte Zügelemente, Seile mit aufgesetzten Scheiben u. a.) geeignet.

Falls das Bauwerk aus "bewehrter Erde" eine nicht mit Erdstoff abgedeckte offene Seite hat, wie das z. B. bei einer Stützwand der Fall ist, muß eine Außenhaut vorgesehen werden, die das Herausrieseln des Erdstoffes zwischen den Bewehrungslagen verhindert. Die Außenhaut muß einerseits steif genug sein, um den Abstand zwischen den Bewehrungen zu überbrücken, andererseits aber auch elastisch reagieren können, um die vorteilhafte Nachgiebigkeit des Erdbauwerkes nicht zu behindern. Üblicherweise wird die Außenhaut mit der Bewehrung verbunden.

In der bisherigen Praxis dieser Bauweise haben sich die nachfolgend genannten Baustoffe als geeignet erwiesen:

Verfüllmaterial

Als Verfüllmaterial dienen nichtbindige, witterungsbeständige Erdstoffe von gleichmäßiger Qualität und hoher Durchlässigkeit. Dabei gelten:

- Körnung $\leq 15 \%$ Kleinstkorn unter 0,06 mm,
 $\leq 25 \%$ Größtkorn über 100 mm,
maximale Korngröße 150 mm;
- organische Bestandteile $I_{om} < 0,05$;
- Winkel der inneren Reibung $\varnothing \geq 25^\circ$;
- pH-Wert 6-10;
- elektrische Leitfähigkeit $> 50 \Omega \cdot m$.

Das Verfüllmaterial ist auf 95 ... 100 % Standarddichte zu verdichten.

Bewehrung mit Stahlbändern

Zum Einsatz gelangen Bänder mit den Abmessungen $t = 3 \text{ mm}$, $b = 60, 80, 100$ bzw. 120 mm aus Baustahl St 38, die mit einer Auflage von $60 \mu\text{m}$ feuerverzinkt sind. Die Schnittkanten der Bänder können unverzinkt bleiben. Von den 3 mm Dicke des Materials werden üblicherweise nur 2 mm als statisch wirksam angesehen, der restliche Materialanteil gilt als Korrosionsreserve. Bei temporären Bauwerken kann auf die Verzinkung verzichtet werden, wenn, je nach vorgesehener Standzeit, eine Abrostgeschwindigkeit von $0,06 \text{ mm/Jahr}$ für die rechnerische Bewehrungsbanddicke angesetzt wird. Bituminöse Schutzanstriche sind für die Bewehrungsbänder ungeeignet, weil der Reibungskoeffizient dadurch vermindert wird.

Geotextilien

Das sind wasserdurchlässige Textilbahnen aus Chemiefaserstoffen mit einer Zugfestigkeit von $Z_{Br} \geq 20 \text{ kN/m}$ und einer Reißdehnung von $\leq 50 \%$. Weitere Angaben über spezielle Produkte können /4/ entnommen werden.

Reibungskoeffizient

Zur Ermittlung des Reibungskoeffizienten zwischen Erdstoffen und verschiedenen anderen Materialien liegen viele Untersuchungen vor. In /5/ werden mit Bezug auf "bewehrte Erde" dazu ausführliche Angaben gemacht. Sie weisen im wesentlichen die nachfolgenden Ergebnisse aus:

- Mit Schergeräten kann ein minimaler Reibungskoeffizient von $\mu = 0,4$ zwischen glattem Stahl und Mischsand bestimmt werden;
- In den Erdstoff eingelegte Einzelbänder ergeben einen um das 3- bis 4-fache höheren Reibungskoeffizienten, wofür eine räumliche Verspannung verantwortlich gemacht wird;
- Mit zunehmender Bandbreite nimmt die Wirkung der räumlichen Verspannung ab;
- Der vertikale und der horizontale Bandabstand beeinflussen ebenfalls die Verspannungswirkung.

In /6, 7, 8/ und in neueren Arbeiten sind speziellere Angaben zu dieser Problematik enthalten. Die DDR-Vorschriften sehen für die Anwendungsbeispiele mit Stahlbändern $\mu = 0,5$ und bei Geotextilien $\mu = \tan \delta$ mit $\delta = 0,8 \cdot \phi$ vor. Beim Einsatz anderer Bewehrungsmaterialien sind geeignete experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung des Reibungskoeffizienten durchzuführen.

1.3. Anwendungsmöglichkeiten

Die Bauweise "Bewehrte Erde" wurde bereits ab Mitte der 60er Jahre bei vielen verschiedenartigen Bauvorhaben angewendet. Erste Bauwerke in Frankreich wurden bei Verkehrswegen als Stützwände, Rampen und Brückenwiderlager ausgeführt. Bis 1978 waren es nach /10/ bereits 2 249 Stützbauwerke in allen Teilen der Welt mit 1 339 990 m² Außenwandfläche. Einige Anwendungsfälle zeigt Bild 4a bis n. Für alle angeführten Fälle sind inzwischen viele Beispiele bekannt geworden. Die meisten Anwendungen gibt es im Verkehrswesen, aber auch im Industriebau und im Wasserbau findet man bereits eine Vielzahl ausgeführter Bauwerke. Behälter in dieser Bauweise sind sowohl für Klarwasser als auch für **Absetzbecken**, für Güllelager und als Schutzbecken für Havarien von Öltanks errichtet worden. Ein Staudamm aus "bewehrter Erde" mit textiler Bewehrung und -außenhaut hat sogar einen freien Hochwasserüberlauf erhalten. Eine bewehrte Schutzwand dient z. B. als Trennung eines Sprengstoffbetriebes von benachbarten Fabrikkanälen.

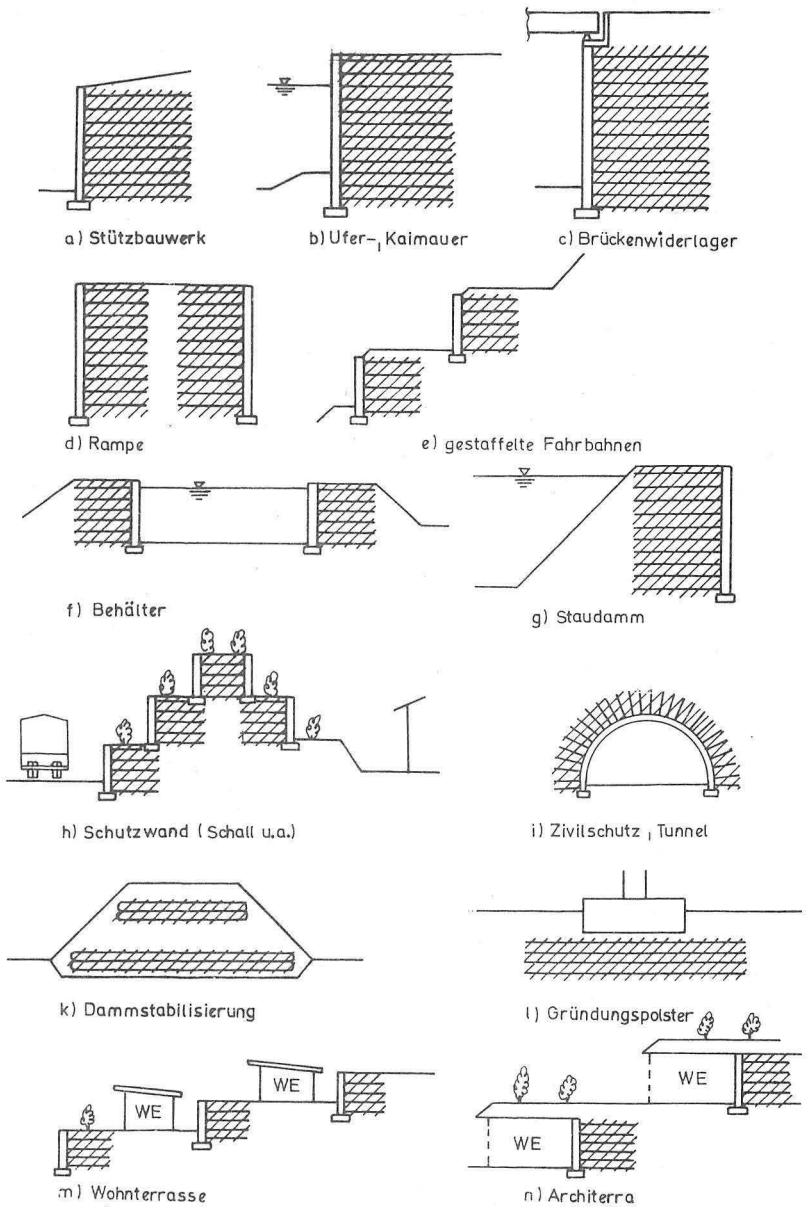


Bild 4 Anwendungsmöglichkeiten für die Bauweise
"Pewehrte Erde"

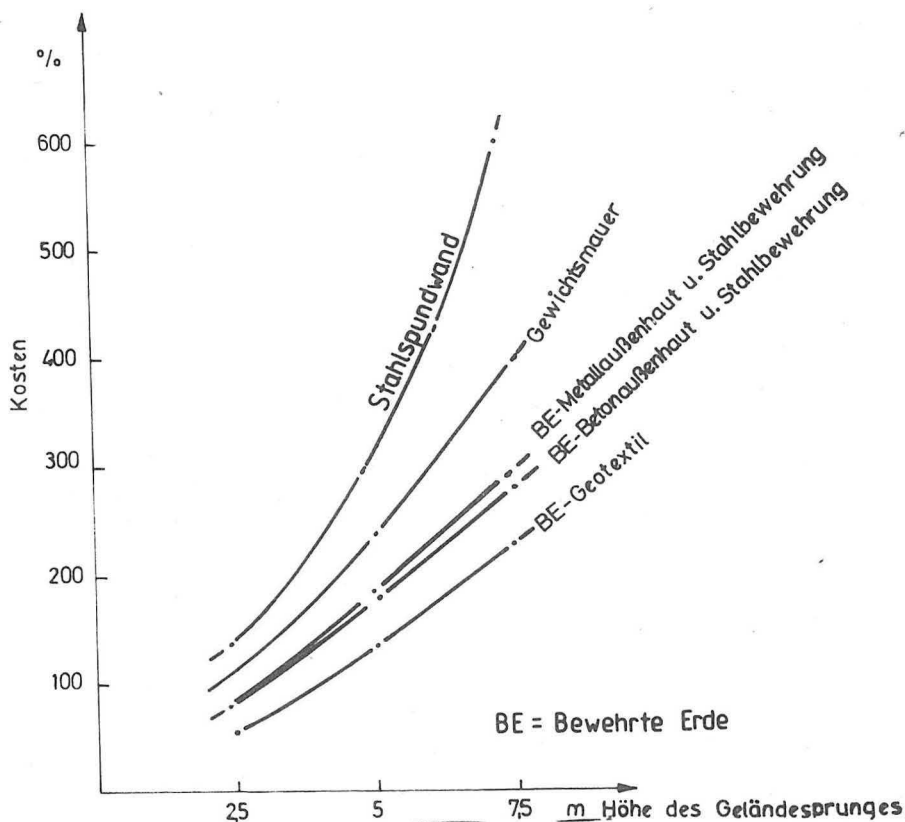


Bild 5 Kostenvergleich, bezogen auf eine 2,5 m hohe Gewichtsmauer

Die Erhöhung der Tragfähigkeit bei unzureichend tragfähigem und setzungsgefährdetem Baugrund durch den Einbau eines bewehrten Gründungspolsters (Bild 14) gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die in Bild 4k gezeigte Damms Stabilisierung durch mehrere Lagen Bewehrung führt zu steileren Böschungen und damit zur Einsparung von landwirtschaftlicher Nutzfläche. Der gleiche Effekt kann mit einer Mischung von Erdstoff und Fasern (Sekundärrohstoffe) erzielt werden. Die Entwicklung von Architerra ist sowohl aus der Sicht der Kosten als auch vom Platzbedarf her mit der Reihenhausbauung vergleichbar. Sie ist in jedem Falle jedoch mit Energieeinsparung verbunden. Neben den in Bild 4 dargestellten Anwendungsmöglichkeiten erwähnt VIDAL in /1/ auch Balken und Säulen aus

"bewehrter Erde". Solch ein Balken mit Kreisquerschnitt von 6 cm Durchmesser bestand aus Transparentzeichenpapier als Außenhaut. Die Bewehrung bildeten 30 Lagen Klebsteifen von 1,9 cm Breite. Bei einer freien Spannweite von 30 cm blieb der Balken bis zu 0,2 kN Mittenlast elastisch. Bei 0,4 kN entstanden geringe plastische Durchbiegungen und bei 0,9 kN ergab sich eine bleibende Verformung von 1 cm.

1.4. Vorteile, Kosten

Kostenanalysen, die aus der internationalen Literatur entnommen werden können /11/, sind durch Vergleichsuntersuchungen des VE Meliorationskombinat Frankfurt/Oder und an der Wilhelm-Pieck-Universität in Rostock bestätigt worden. Sie sind in Bild 5 dargestellt. Für drei Geländesprunghöhen wurden die Kosten für Stahlspundwände und Gewichtsmauern sowie für Stützkonstruktionen aus "bewehrter Erde" (Stahlaußenhaut und Betonaußenhaut jeweils mit Stahlbewehrung, Außenhaut und Bewehrung mit Geotextilien) miteinander verglichen. Gleiche Baugrundverhältnisse, technologische Bedingungen und Standortverhältnisse wurden vorausgesetzt. Die Bauleistungen für Folgemaßnahmen und außergewöhnliche Aufwendungen sind bei der Preisermittlung nicht berücksichtigt. Die Stahleinsparung beträgt im Vergleich von Stahlspundwänden mit Bauwerken in der Bauweise "Bewehrte Erde" (Stahlaußenhaut, Stahlbewehrung) 60 %. Bei Betonaußenhautelementen ergeben sich im Vergleich zu Gewichtsmauern aus Beton Einsparungen von 90 % Beton. Vergleiche bei Zugrundelegung verschiedener Abrostungsgrade für Stahlbewehrung zeigen, daß die Korrosion die Kosten nicht ausschlaggebend beeinflußt. Trotzdem soll eine Aussage von VIDAL nicht unerwähnt bleiben, wonach die Anwendung der Bauweise "Bewehrte Erde" mehr ein Kampf gegen die Korrosion als gegen die auftretenden Kräfte ist.

Die mehr als 15jährigen Erfahrungen mit der Bauweise "Bewehrte Erde" haben die nachfolgend genannten Vorteile bestätigt:

- geringe Bauzeiten;
- Einsatz üblicher Baumaschinen, wie Bagger, Kipper, Planiertrauben, Verdichtungsgeräte;
- hoher Mechanisierungsgrad, wenig Arbeitskräfte;
- industriell vorgefertigte Bauteile;
- Anpassungsfähigkeit an schwierige Geländeverhältnisse und Bauwerksformen,

- auch im unwegsamen Gelände anwendbar;
- weitgehend witterungsunabhängige Bauwerksherstellung;
 - Unempfindlichkeit der Bauwerke gegen große Setzungen;
 - Ausschluß eines plötzlichen Bruchs, da eine große plastische Reserve zur Verfügung steht;
 - sehr geringe Eigensetzungen;
 - Bauwerke nach der Bauweise "Bewehrte Erde" sind schwere Bauwerke und deshalb für Küstenschutzmaßnahmen, Stau- und Schutzdämme sowie für Schutzbauwerke in der Zivilverteidigung und im militärischen Bereich besonders geeignet;
 - praktisch unbegrenzte Bauwerkshöhe von Stützkonstruktionen;
 - Materialtransporte, abgesehen von Erdstofftransporten, fallen in geringem Umfang an;
 - Außenhautelemente und Bewehrung können von Hand oder mit leichten Hebezeugen transportiert werden;
 - temporäre Bauwerke ermöglichen eine leichte Rückgewinnung der Baustoffe;
 - günstige architektonische Gestaltung von Sichtflächen ist möglich;
 - die Bauweise "Bewehrte Erde" hat sich bei bisherigen Anwendungsfällen anderen Bauweisen gegenüber als ökonomisch überlegen erwiesen;
 - die Einsparung von wichtigen Baustoffen, wie Zement und Stahl sowie von Energie und teuren Baukapazitäten (Rammkapazität u. a.) ist sehr groß.

Diese Vorteile gegenüber anderen Bauweisen bieten sich aus volkswirtschaftlicher Sicht in der DDR besonders an. Publikationen in der Fachpresse über die Bauweise "Bewehrte Erde" /12, 13, 14/ und deren Anwendungen /4, 15/ dienen dem Zweck, sie bekannt zu machen. Inzwischen laufen an verschiedenen Forschungseinrichtungen Arbeiten zur weiteren Vervollständigung der Bauweise.

Die breite Anwendung im Bauwesen, im Verkehrsbau, im Meliorationswesen und im Wasserbau ist eine Aufgaben, die von den Projektanten gemeinsam mit den Baubetrieben verwirklicht werden sollte.